

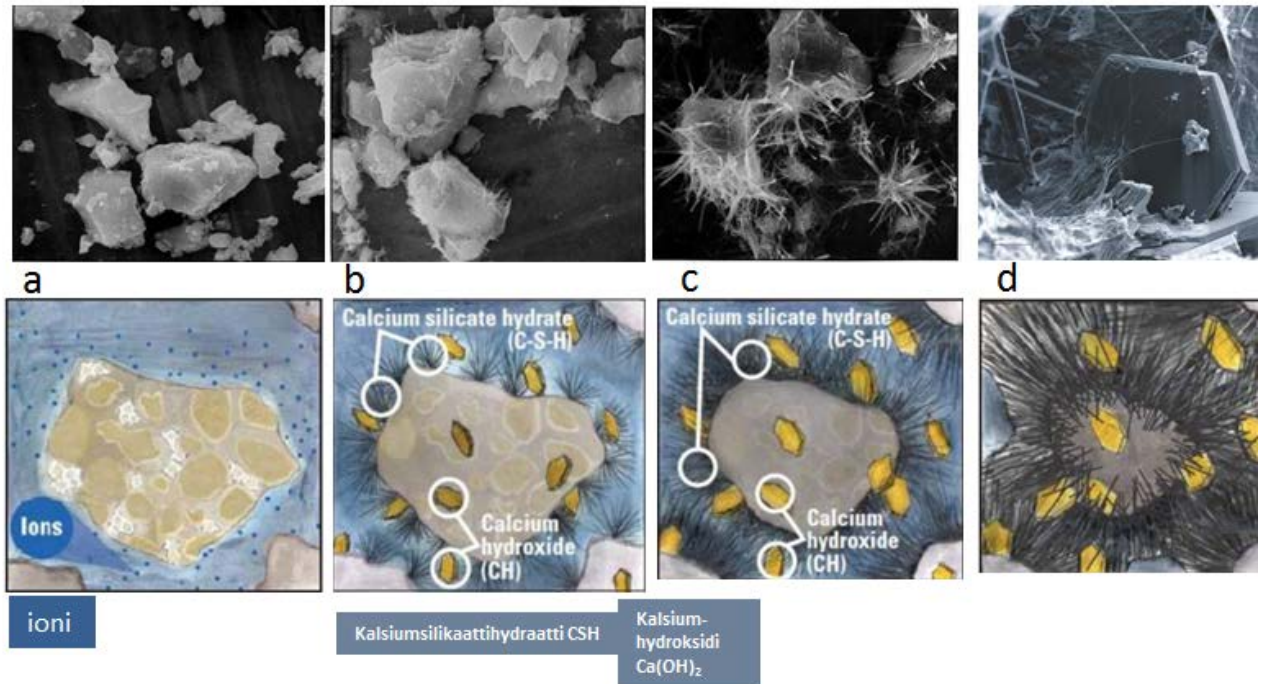


Seosaineet betonissa

Betonilaborantti- ja myllärikurssi

Sementin reaktiot veden kanssa

- ensin aluminaattiyhdisteet (kipsin kanssa)
- lujuudenkehitys: C_3S ja C_2S
- reaktiotuotteena luja ja kestävä sementtikivi



a) Välittömästi sekoituksen jälkeen sementtihiukkasen pinnasta liukenee veteen kalsiumia, silikaattia, alumiinia ja sulfaattia sekä alkalimetalleja.

b) Sementtirakeiden pintaan alkaa syntymään hydrataatiotuotteita (CSH, ettringiittiä, $Ca(OH)_2$), jotka laajenevat sementtihiukkasen pinnalta vesitilaan.

c) Muutaman tunnin kuluttua reaktiotuotteet ovat jo toisissaan kiinni ja sitoutuminen on alkanut.

b) Muutaman vuorokaud kuluttua hydrataation on edennyt pitkälle, mutta jatkuu edelleen niin kaua kuin reagoimatonta sementti ja vapaata vettä riittää.

BETONINORMIT 2021

by

65

Sideaineet: seosaineet

Suomessa käytettävät betonin seosaineet ovat:

- Lentotuhka
- Masuunikuona
- Silika
- (Kalkkikivifilleri, pigmentit)

Seosaineita käytetään paitsi pienentämään sideainekustannuksia myös kun betonille tavoitellaan uusia ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia on esimerkiksi:

- sulfaatinkestävyys
- alhainen hydrataatiolämpö
- kemiallinen kestävyys
- koossapysyvyys
- vesitiiveys



Lentotuhka

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksissa syntyvä sivutuote, joka erotetaan savukaasuista.

- Voimalaitoksissa kivihiili jauhetaan hienoksi jauheeksi ja puhalletaan kattilan tulipesään. Kivihiili sisältää normaalisti n. 15 % palamattomia aineita, joista muodostuu hiilijauheen palaessa hienojakoista tuhkaa. Suurin osa tästä tuhkasta kulkeutuu savukaasujen mukana ja erotetaan joko elektrostaattisesti tai mekaanisesti kuivana, vaaleana jauheena. Tätä osaa tuhkasta kutsutaan lentotuhkaksi
- Ilmastotavoitteet energiantuotannossa vähentävät lentotuhkan saatavuutta ja sen saannin odotetaan loppuvan lähiaikoina.

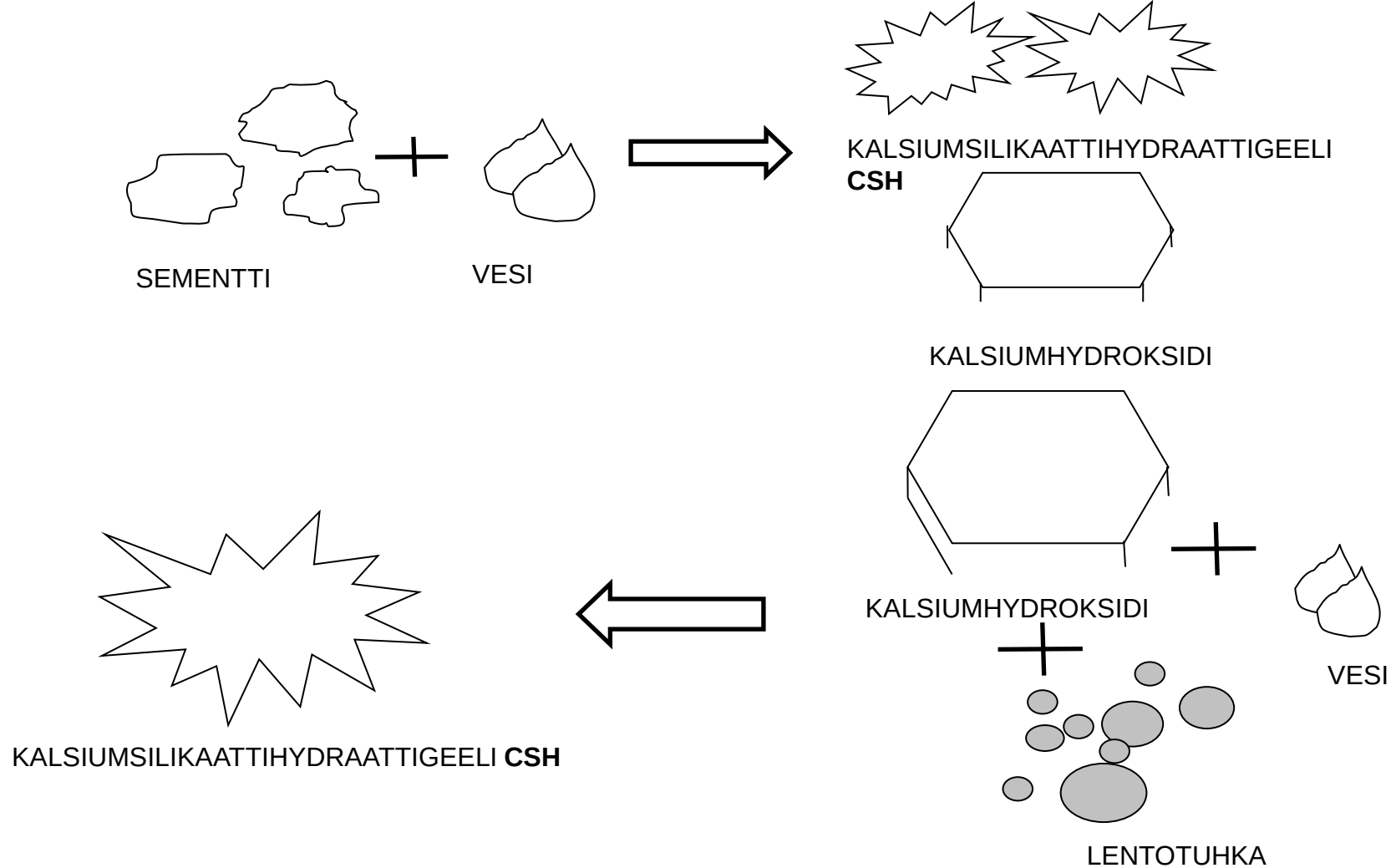
Lentotuhka

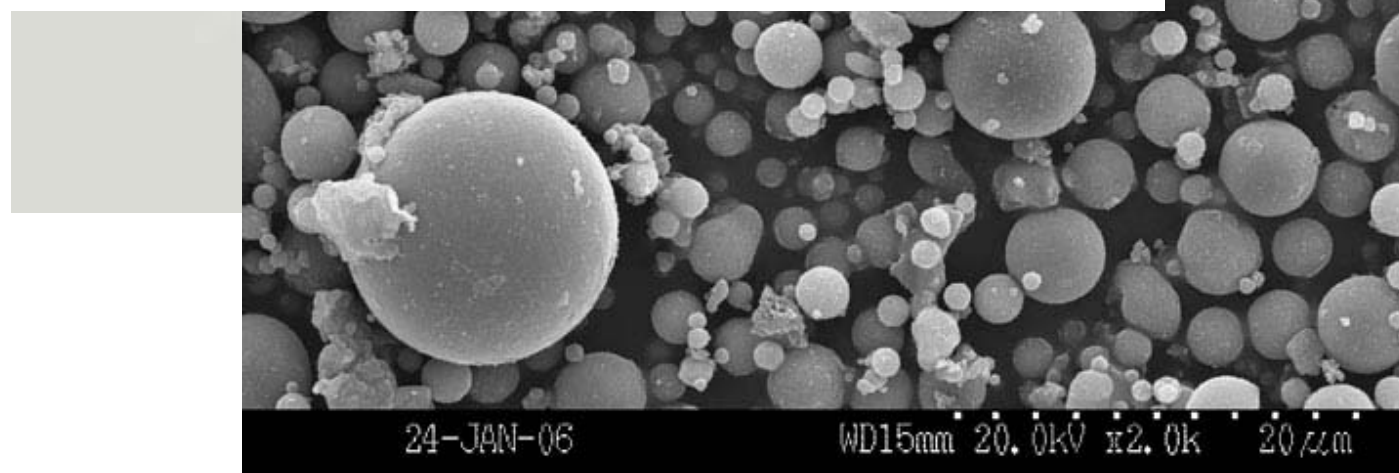
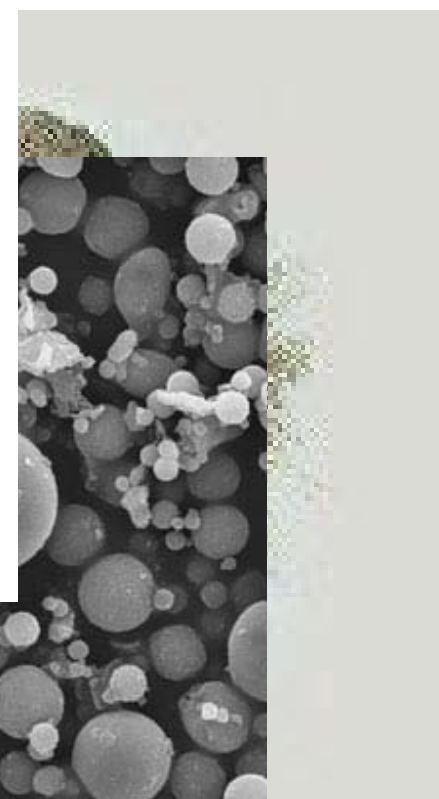
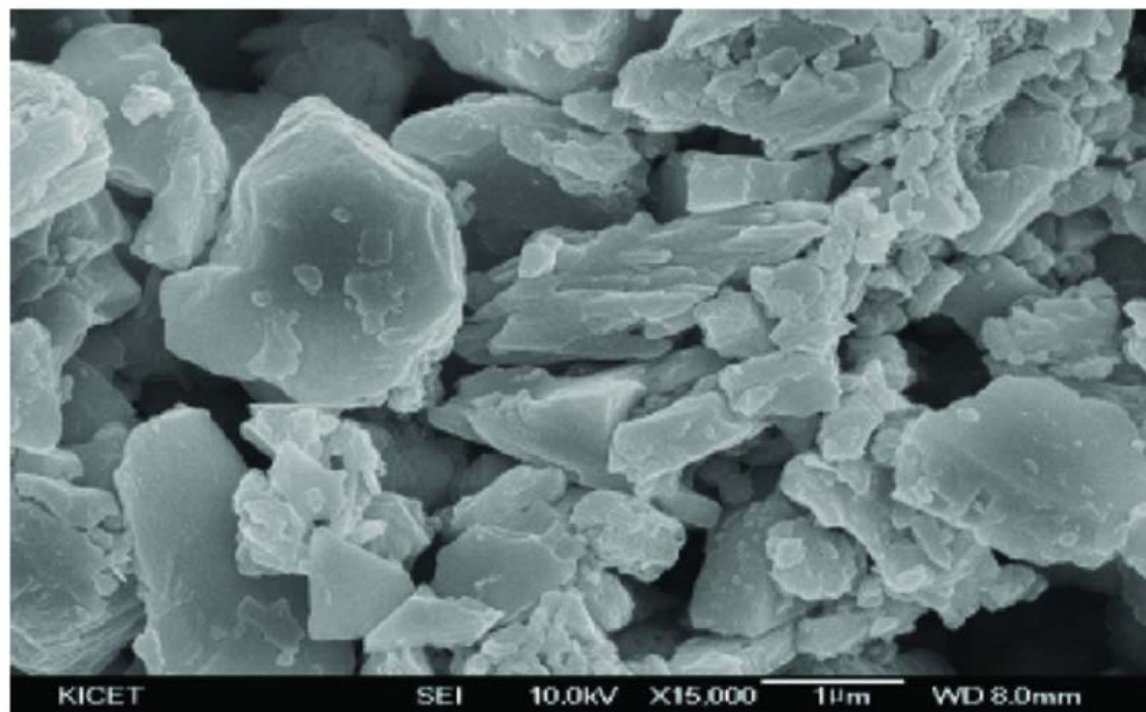
Lentotuhka toimii betonissa sekä kiviaineksena (rakeisuus 1...150 μm) että sideaineena

Lentotuhka on pozzolaaninen aine

- reagoi sementin hydrataatiossa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumsilikaattihydraatti -geeliä.

Lentotuhkan reaktiot veden kanssa





Lentotuhka

Betonin hydrataatiolämpö pienenee, kun lentotuhkaa käytetään korvaamassa sementtiä

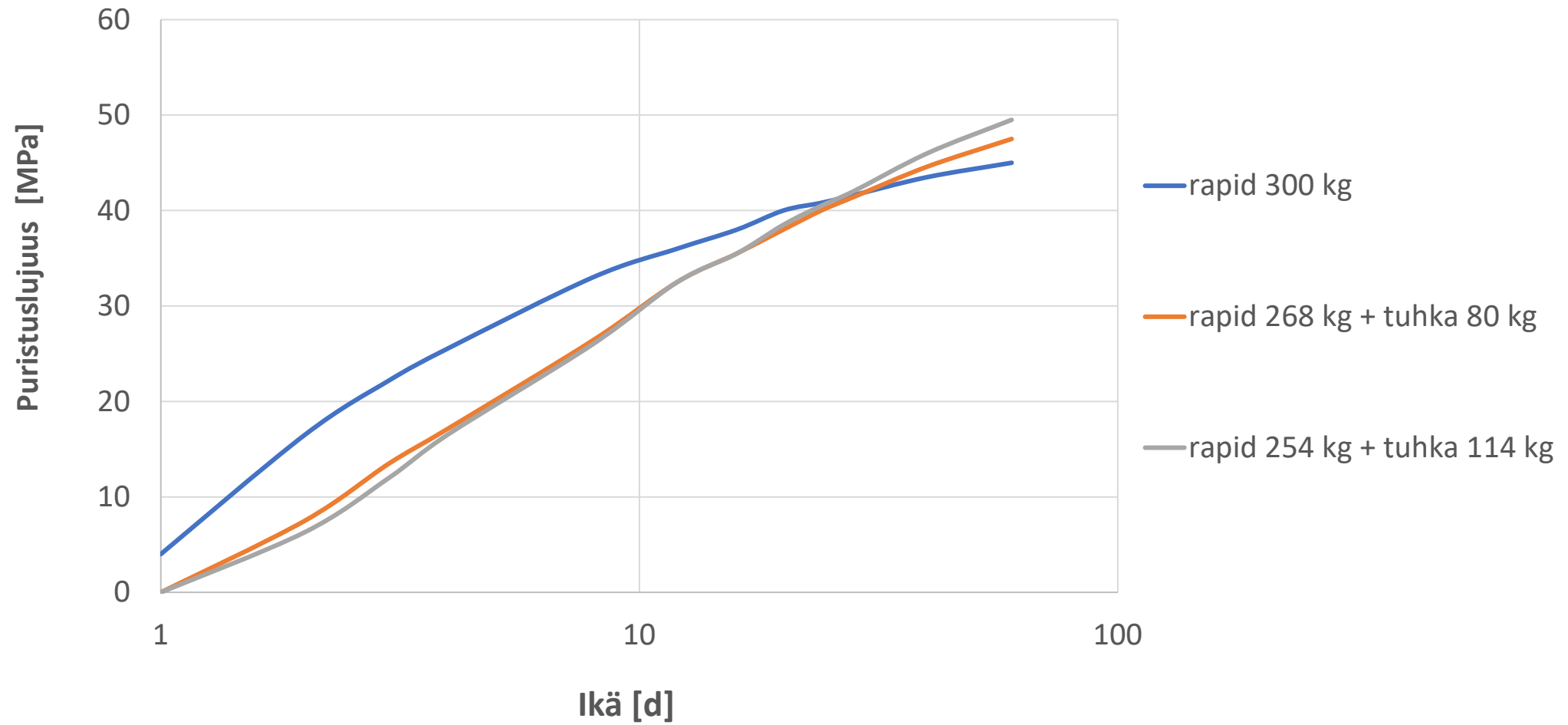
- Talvibetonoinnissa ja esimerkiksi lattiavaluissa lentotuhkan käyttö ei ole suositeltavaa, koska sitoutuminen ja lujittuminen hidastuvat oleellisesti.

Pienentää betonin vedentarvetta

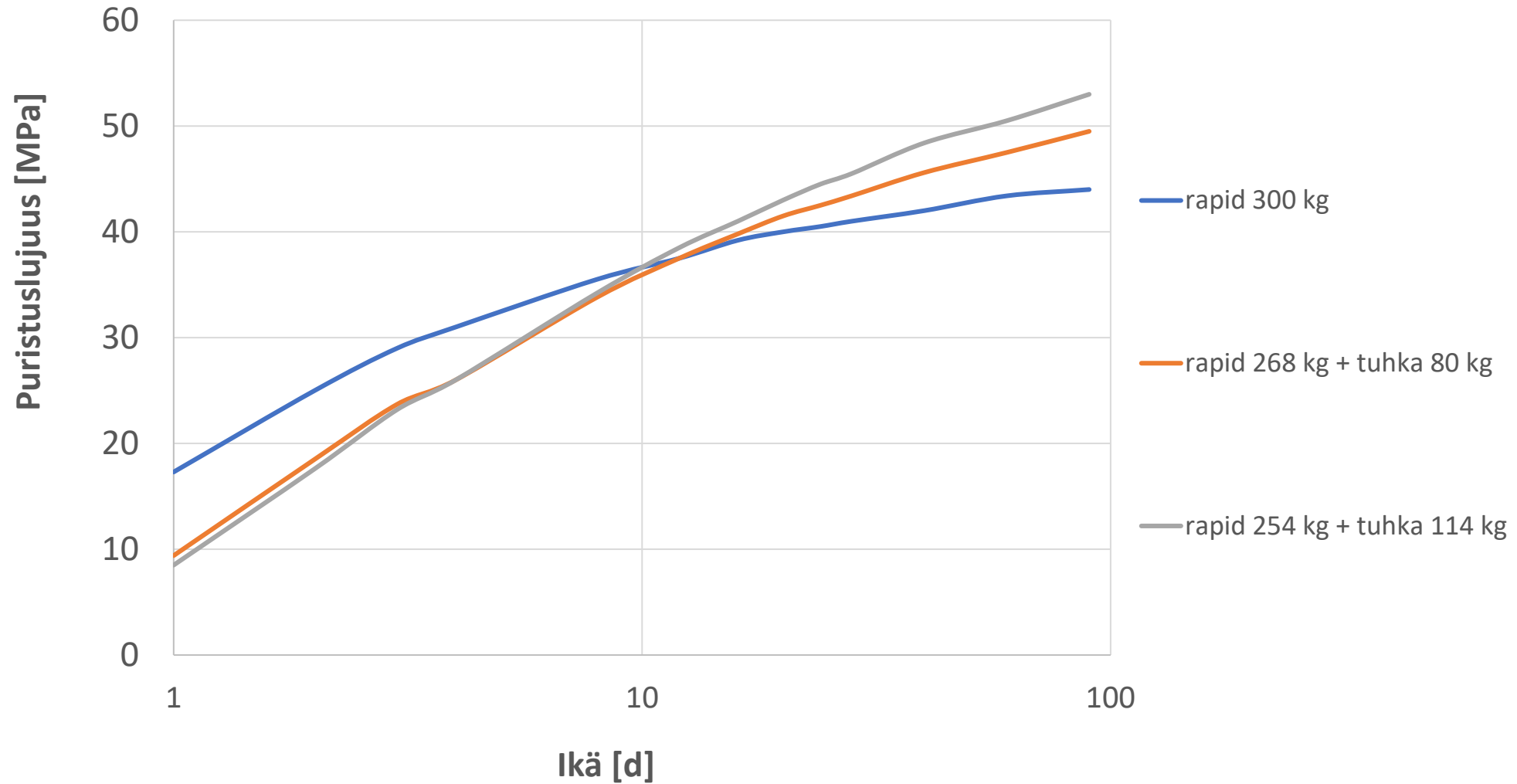
LT sisältämä hiili vaikeuttaa betonin huokostamista

Sementtimäärää laskettaessa LT lasketaan 0 % ...100 % sementiksi lentotuhkan määrästä ja rasitusluokasta riippuen.

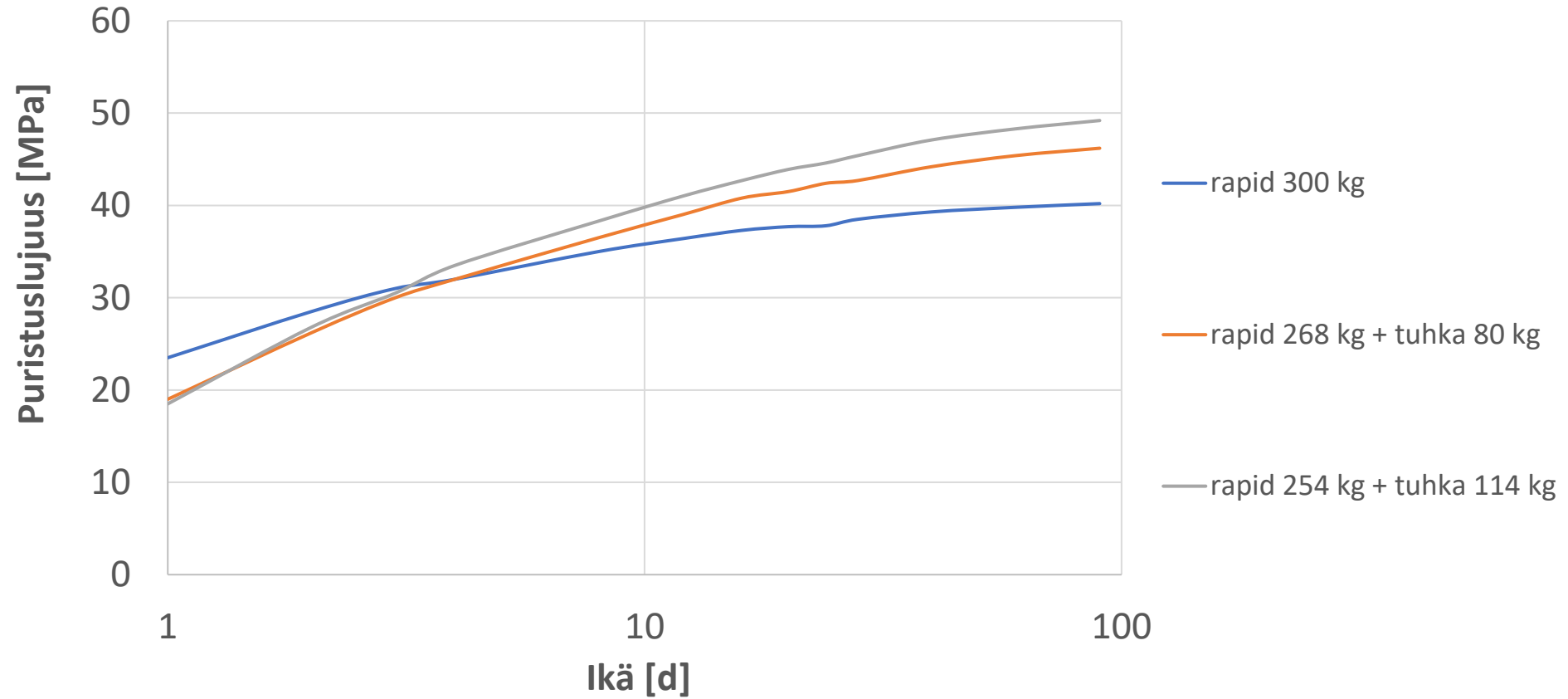
Lujuudenkehitys +5:ssä, vesimäärä 180 l/m³



Lujuudenkehitys +20 C:ssa, vesimäärä 180 l/m³



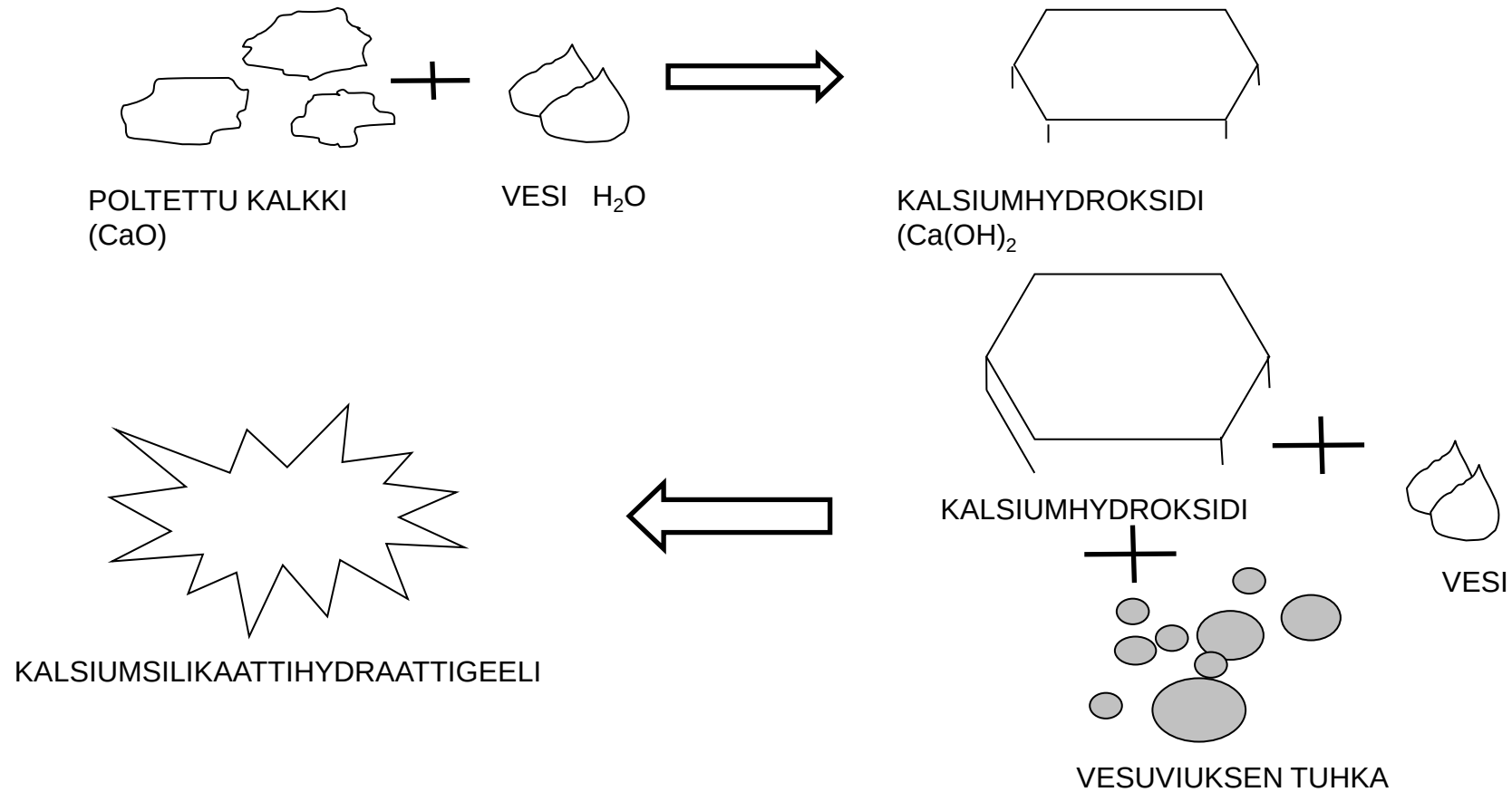
Lujuudenkehitys +40 C:ssa, vesimäärä 180 l/m³





Betonirakentamista vuodelta 125 Roomassa

Roomalaisen betonin reaktio



Lentotuhkan käytön edut ja haitat

Etuja:

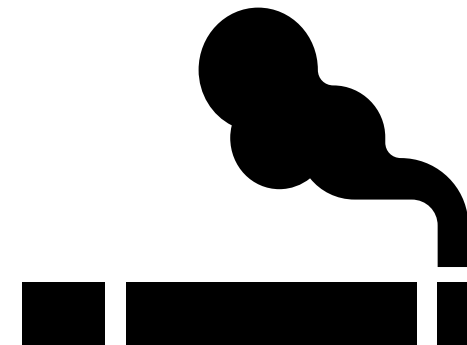
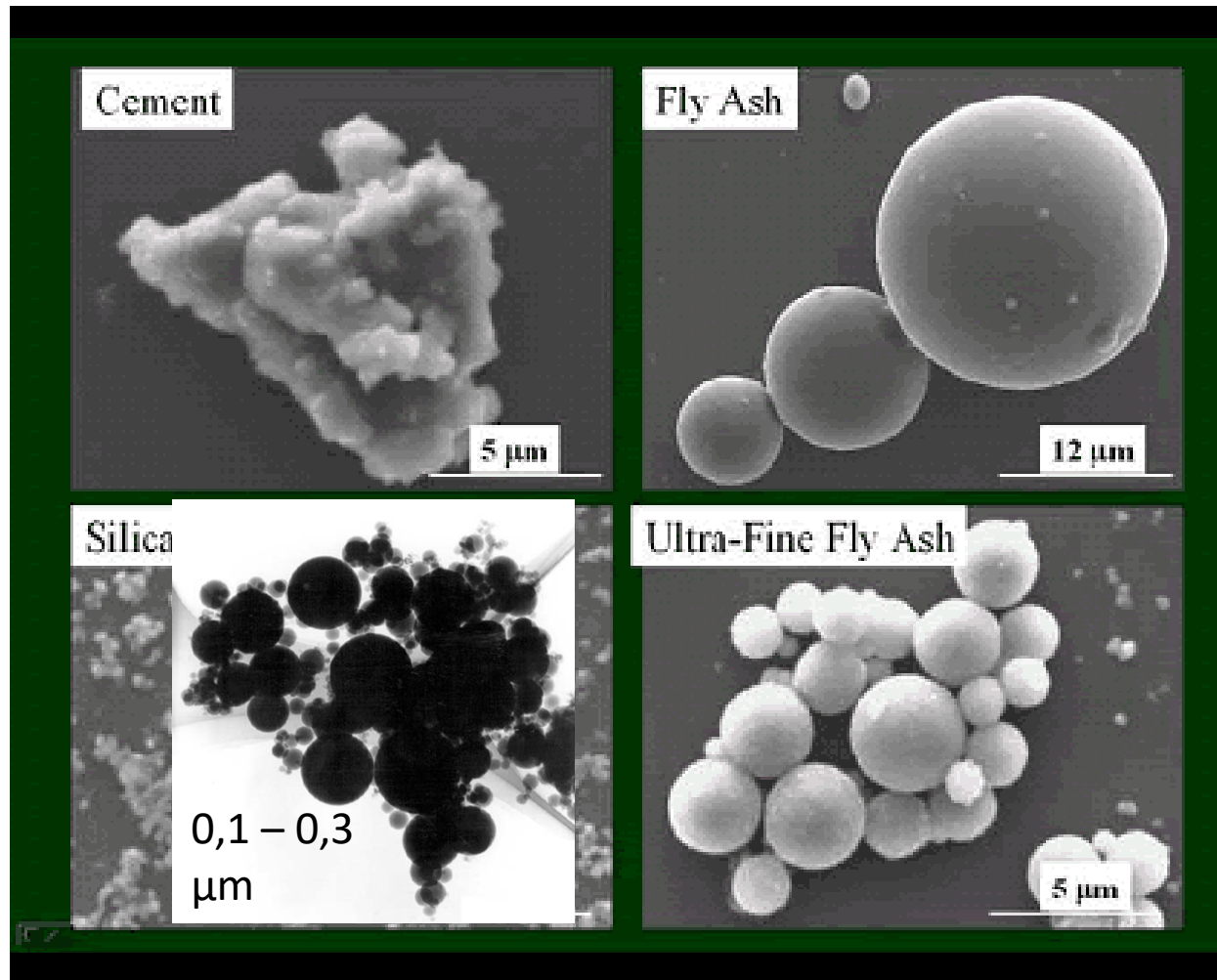
- reaktiivinen filleri
- parantaa työstettävyyttä
- alhainen hydrataatiolämpö
- edullista lujuutta
- CO₂-päästöjen vähentäminen

Haittoja:

- väri
- kovettuminen kylmissä oloissa

Silika

- Silikaa syntyy piin ja ferropiin valmistuksen yhteydessä, kun prosessissa syntyvää SiO_2 -kaasua kiinteytetään. Se on erittäin hienojakoista amorfista piidioksidia ja on kuten lentotuhka pozzolaani.
- Betonitekniikassa Suomessa silikaa on käytetty ”perinteisesti” korkealujuuksisten betonien valmistamisessa.
- Parantaa betonin lujuutta, kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä
- Silikan käyttö kasvattaa betonin vedentarvetta ja sen kanssa on aina käytettävä notkistavia lisäaineita.



Silikan aktiivisuusindeksi

Mikäli silikaa halutaan käyttää normaalilujuuksisen betonin valmistamisessa, voidaan silikan aktiivisuusindeksinä käyttää arvoa 2,5. Tämä tarkoittaa, että 1 kg silikaa nostaa lujuutta yhtä paljon kuin 2,5 kg sementtiä.

Vesi-sementtisuhdetta laskettaessa aktiivisuus on

2,0, kun betonin $v/s \leq 0,45$

1,0, kun betonin $v/s > 0,45$ (rasitusluokissa XC ja XF)

Masuunikuona

Masuunikuonaa syntyy raakaraudan valmistuksen sivutuotteena kolmea eri tyyppiä:

- granuloitua masuunikuonaa
- pelletoitua masuunikuonaa
- kappalekuonaa

Kuonan sideaineominaisuudet riippuvat paitsi kuonan kemiallisesta koostumuksesta niin varsinkin sulan kuonan jäähdystavasta.

- Nopeasti veden avulla jäähdytetyllä, eli granuloidulla, kuonalla on sementtisiä ominaisuuksia



Masuunikuona

Masuunikuonajauheen vedentarve on pieni, eli se notkistaa betonia.

Vähentää huomattavasti betonin hydrataatiolämpöä, minkä vuoksi sitä käytetään usein massiivisten rakenteiden valuissa.

Masuunikuonan käyttö kasvattaa myöhäisiä lujuuksia, mutta yleensä alentaa varhaislujuuksia.



Masuunikuona

Masuunikuonajauhe parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä.

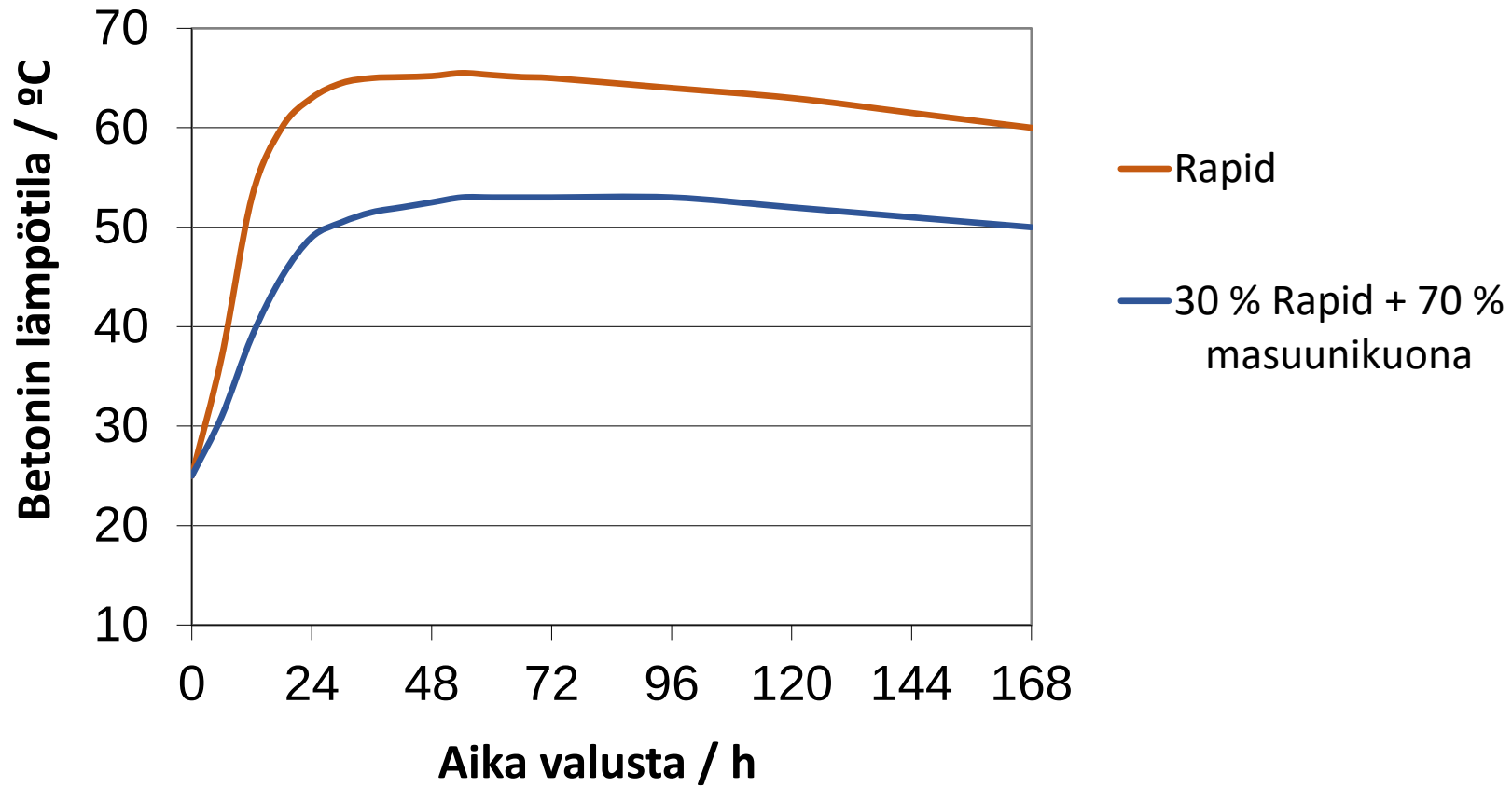
- Jos kuonajauheen osuus on yli 70 % sideaineesta, sideaineyhdistelmä luokitellaan sulfaatinkestäväksi.

Masuunikuonajauheen käyttö lisää jonkin verran betonin virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta sekä heikentää betonin pakkas-suolakestävyyttä.

Sementtimäärää laskettaessa kuonajauhe lasketaan 100 % sementiksi (muutos vuonna 2019).

Vaikutus lämmönkehitykseen

Betonin lämpötila 3 m paksussa laaatassa



Masuunikuonan edut ja haitat

Etuja:

alhainen hydrataatiolämpö

edullista lujuutta

CO₂-päästöjen vähentäminen

hidastaa kloridin tunkeutumista betoniin

Haittoja:

heikentää betonin pakkas-suolakestävyyttä

kovettuminen kylmissä oloissa

Seosaineiden
tyypillisiä
hienouksia
(ominaispinta-ala
Blaine)

Sementti	350 ... 600	m ² /kg
Kuona	400	m ² /kg
Lentotuhka	250	m ² /kg
Kiviaineksen <0,125 mm	100	m ² /kg
Silika	20 000	m ² /kg

Seosaineiden käyttö betonissa

	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituk- sen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäätymis-sulamisrasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
						Kloridit merivedestä			Kloridit muusta kuin merivedestä									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Sallitut sementti- tyypit	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia Kaikki stan- dardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallittuja	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia Kaikki stan- dardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallittuja	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I ⁽¹⁾ IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I ⁽¹⁾ IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I ⁽¹⁾ IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I ⁽¹⁾ IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A II/B	I ⁽¹⁾ IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/B III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL ⁽⁴⁾ II/A-M ⁽⁴⁾ II/B-M ⁽⁴⁾ III/A ⁽⁵⁾ III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL ⁽⁴⁾ II/A-M ⁽⁴⁾ II/B-M ⁽⁴⁾ III/A ⁽⁵⁾ III/B	I IIA/-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M II/B-M ⁽⁴⁾ III/A III/B	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾ ⁽³⁾	
Portland- klinkkerin osuus side- aineesta ⁽⁶⁾	≥ 5	≥ 5	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 50	≥ 20	≥ 50	≥ 20		
Seosaineen osuus side- aineesta ⁽⁷⁾	Seosaineen osuus massa-% sideaineen kokonaismäärästä																	
Silika	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	⁽³⁾	⁽³⁾
Lentotuhka	≤ 50	≤ 50	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	⁽³⁾	⁽³⁾
Masuuni- kuona	≤ 95	≤ 95	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 50	≤ 80	≤ 50	≤ 80	⁽³⁾	⁽³⁾

¹⁾ Käytettäessä sementtiä CEM I suositellaan rasituksen ankaruuden mukaisesti erikseen määriteltäviä säilyvyyttä parantavia lisätoimenpiteitä.

Tällaisia lisätoimenpiteitä ovat esimerkiksi betonin kloridikestävyttä parantavien seosaineiden käyttö ja betonipeitteen paksuuden kasvattaminen.

²⁾ Sulfaattipitoisessa ympäristössä käytetään SFS-EN 197-1:n mukaista sulfaatinkestävää sementtiä CEM I-SR0, CEM I-SR3, CEM III/B-SR tai CEM III/C-SR.

Mikäli betonissa käytettävä sementtilaatu poikkeaa näistä, betonin sideaineen tulee sisältää masuunikuonaa vähintään 70 % sideaineen kokonaismäärästä.

³⁾ Muissa kuin sulfaattirasitetuissa kohteissa suunnittelija valitsee käytettävän sideaineen vallitsevan kemiallisen rasituksen mukaan.

⁴⁾ Kalkkikivijauheen osuus on enintään 20 %.

⁵⁾ Masuunikuonan osuus saa olla korkeintaan 50 massa-% sideaineen kokonaismäärästä

⁶⁾ Portlandklinkkerin osuus ilmaistaan massa-%:na.

⁷⁾ Sementin sisältämä seosaineiden määrä tulee ottaa huomioon betoniin lisättävien seosaineiden osuuksia laskettaessa, jos käytetään muuta sementtiä kuin CEM I.